



TUGAS AKHIR - SF 141501

**SINTESIS NANOPARTIKEL LiFePO_4 BERBASIS BATU
ALAM TANAH LAUT, KALIMANTAN SELATAN**

**Humaatul Islam
NRP 1111 100 079**

**Dosen Pembimbing
Prof. Suminar Pratapa, Ph.D.**

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - SF 141501

**SYNTHESIZE OF NANOPARTICLE LiFePO_4 BASED
ON NATURAL STONE OF TANAH LAUT, SOUTH
KALIMANTAN**

**Humaatul Islam
NRP 1111 100 079**

**Advisor
Prof. Suminar Pratapa, Ph.D.**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Science
Tenth Nopember of Technology Institute
Surabaya 2016**

**SINTESIS NANOPARTIKEL LiFePO_4 BERBASIS BATU
ALAM TANAH LAUT, KALIMANTAN SELATAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

HUMAATUL ISLAM
NRP 1111100079

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Suminar Pratapa, Ph.D

NIP. 196602240 199002 1 001



Surabaya, Januari 2016

SINTESIS NANOPARTIKEL LiFePO_4 BERBASIS BATU ALAM TANAH LAUT, KALIMANTAN SELATAN

Nama : Humaatul Islam
NRP : 1111100079
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing I : Prof. Suminar Pratapa, Ph.D.

Abstrak

Penelitian Tugas Akhir dengan judul “Sintesis Nanopartikel LiFePO_4 Berbasis Batu Alam Tanah Laut, Kalimantan Selatan” bertujuan untuk mensintesis batu besi Tanah Laut dengan bahan komersial Li_2CO_3 dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ menjadi serbuk LiFePO_4 dengan ukuran nanopartikel dengan metode Sol-Gel serta mengkarakterisasi fasa yang terbentuk ketika serbuk mendapatkan temperatur kalsinasi 700°C dan waktu tahan yang berbeda (5 jam dan 10 jam). Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan instrumen X-Ray Fluorescence (XRF), Differential Thermal Analysis and Thermogravimetry (DTA-TG), Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), dan X-Ray Diffraction (XRD). Analisis hasil uji XRF menunjukkan bahwa terdapat unsur Fe sebesar 89,84% pada batu alam. Analisis hasil uji AAS menunjukkan bahwa setelah batu dilarutkan dalam HCl terdapat 180 ppm atom Fe dalam larutan tersebut. Analisis data XRD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Match!, Rietica, dan MAUD. Proses sintesis sol-gel dengan bahan dasar batu besi Tanah Laut, Li_2CO_3 , dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ dengan waktu kalsinasi di lingkungan argon selama 5 jam menghasilkan fasa-fasa yaitu LiFePO_4 , LiFeP_2O_7 , dan Li_3PO_4 dengan ukuran kurang dari 100 nm. Distribusi ukuran fasa LiFePO_4 pada sampel dengan waktu kalsinasi 5 jam relatif lebih homogen dibandingkan sampel 10 jam. Produk sintesis yang dikalsinasi 10 jam masih cenderung amorf dengan fraksi berat kristal LFP sebesar 5,02%, sedangkan kalsinasi 5 jam menghasilkan kristal LFP dengan fraksi berat relatif LFP yang lebih banyak, yaitu 5,12%.

Kata kunci : Olivine, LFP, Metode Sol-Gel, Nanopartikel

SYNTHESIZE OF NANOPARTICLE LiFePO_4 BASED ON NATURAL STONE OF TANAH LAUT, SOUTH KALIMANTAN

Name : Humaatul Islam
NRP : 1111100079
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Prof. Suminar Pratapa, Ph.D.

Abstract

Thesis with the title of "Synthesis of LiFePO_4 Nanoparticles Based on Natural Stone of Tanah Laut, South Kalimantan" served as the purpose to synthesized granite in Tanah Laut with Li_2CO_3 and $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ as commercial materials and turn it into nanoparticle dusts of LiFePO_4 using the Sol-Gel methods and also chracterized the phase that formed when the dusts was put in calcination temperature (700°C) and different holding time (5 hours and 10 hours). Characterization was done using X-Ray Fluorescence (XRF), Atomic absorption Spectroscopy (AAS) and X-Ray Diffraction (XRD) instruments. The result of XRF test analysis showed that there was a 89,84% of Fe element on natural stone. The result of AAS test analysis showed that after the stone was dissolved in HCl, there was a 180 ppm of Fe atoms in the solution. The analysis of data from XRD test was done using the Match!, Rietica, MAUD software. The Sol-Gel synthesis process of Tanah Laut natural stone, Li_2CO_3 , and $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ as basic material that have been put into 5 hours of calcination time within argon environment generated several phases namely LiFePO_4 , LiFeP_2O_7 , and Li_3PO_4 with a size of less than 100 nm. The size distribution of LiFePO_4 phase on the sample with 5 hours of calcination time was relatively more homogeneous than the one with 10 hours of calcination time. The synthesis product which have been calcined for 10 hours had a 5,02% of LFP crystal weight fraction, meanwhile the product which have been calcined for 5 hours generated LFP crystal with considerably more LFP weight fraction of 5,12%.

Keyword : Olivine, LFP, Sol-Gel Method, Nanoparticle

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah dengan segala ke-Maha-annya yang telah memberi banyak nikmat termasuk kelancaran dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika. Tugas Akhir yang berjudul **“Sintesis Nanopartikel LiFePO₄ Berbasis Batu Alam Tanah Laut, Kalimantan Selatan”** ini ditujukan untuk berpartisipasi dalam perkembangan ilmu pengetahuan bidang Sains dan Teknologi di Indonesia.

Menyadari bahwa terlaksananya proses pembuatan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan para pihak terkait, maka penulis mengucapkan terima kasih pada banyak pihak yang telah membantu dan menginspirasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih yang tak terhingga untuk:

1. Allah SWT. Pemberi pertolongan yang tak terkira, Sutradara terbaik dengan skenario terindah-Nya.
2. Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang paling sabar, Bapak Prof. Suminar Pratapa, Ph.D. Terima kasih untuk bimbingan, bantuan, dan pencerahan saat tersendatnya proses Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si. dan Bapak Dr. Malik Anjelh Baqiya, M.Si. selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir. Terima kasih untuk pengertian dan masukan yang membangun.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng. selaku Ketua Jurusan atas segala bentuk dukungan untuk anak-anaknya di Jurusan Fisika ITS.
5. Mbak Aini, Mbak Ofa, Nofi, Mas Dewa, Bu Upik, Mbak Riyan, Mbak Anif, Mas Budiana, Naurah, Fikri, Kunti, Yume, dan Fitri. Terima kasih untuk pencerahan dan kesabaran dalam menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis.
6. Orang tua penulis, Ibu Hasti Purwantiningsih dan Bapak M. Sosiawan sebagai pendukung utama langkah penulis dan tidak hentinya mendoakan penulis.

7. Teman seperjuangan Fifi, Dhita, dan Leny. Terima kasih untuk motivasi saat berkeluh.
8. Semua teman-teman yang turut mendukung dari awal hingga nanti.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari kesalahan atau kekurangan, sehingga penulis memohon maaf sebesar-besarnya dan membuka diri untuk saran dan kritik. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Penulis juga berharap Sains dan Teknologi di Indonesia akan semakin maju untuk menyelesaikan permasalahan bangsa.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Partikel LiFePO_4	5
2.2 Metode Sol-Gel	6
2.3 Bahan Pembentuk <i>Lithium Ferro Phosphate</i> (LFP)	7

2.3.1 Besi Oksida.....	7
2.3.2 <i>Lithium Carbonate</i> (Li_2CO_3)	7
2.3.3 <i>Di-ammonium Hydrogen Phosphate</i> ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$).....	7
BAB III METODE PENELITIAN	9
3.1 Bahan dan Peralatan	9
3.1.1 Bahan.....	9
3.1.2 Peralatan	9
3.2 Prosedur Kerja.....	9
3.3 Karakterisasi Sampel.....	10
3.2.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	10
3.2.2 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	12
3.2.3 <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS).....	13
3.4 Skema Kerja	14
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	15
4.2 Hasil Karakterisasi <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS) dan Analisis Pengurangan Massa	16
4.3 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	23
5.1 Kesimpulan	23
5.2 Saran.....	23
DAFTAR PUSTAKA	25
BIOGRAFI PENULIS	27

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengujian XRF Batu Besi Tanah Laut	15
Tabel 4.2 Ukuran Rerata Partikel Komposit LFP/C terhadap Penambahan Fraksi Karbon	16
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Lebar Puncak Distribusi Ukuran Partikel	17
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik.....	19
Tabel 4.5 Kapasitas <i>Charge-Discharge</i> Material LFP/C.....	19
Tabel 4.6 Kapasitas <i>Charge-Discharge</i> Material LFP/C.....	19
Tabel 4.7 Kapasitas <i>Charge-Discharge</i> Material LFP/C.....	21
Tabel 4.8 Kapasitas <i>Charge-Discharge</i> Material LFP/C.....	21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kristal LiFePO_4	5
Gambar 3.1 Skema Geometri pada Kondisi Bragg	11
Gambar 3.2 XRD Philips X'Pert MDP	11
Gambar 3.3 Alat XRF PANalytic Minipad 4	12
Gambar 3.4 Alat AAS	13
Gambar 3.5 Diagram Alir Sintesis Serbuk LiFePO_4	14
Gambar 4.1 Batu 1 dan Batu 2	15
Gambar 4.2 Grafik DTA-TG dari Prekursor LFP	17
Gambar 4.3 Pola difraksi <i>lithium iron phosphate</i> (LFP)	18
Gambar 4.4 Pola Distribusi Ukuran Kristal LiFePO_4 Pada Sampel LFPHT5 dan LFPHT10	22

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

LiFePO₄ telah menarik perhatian besar dalam beberapa tahun terakhir sebagai material katoda untuk baterai isi ulang ion litium dikarenakan ramah lingkungan dan memiliki berbagai karakteristik menarik, termasuk biaya produksi yang murah, tidak beracun, dan ramah lingkungan. LiFePO₄ secara khusus menarik sebagai pengganti untuk material katoda baterai ion litium LiCoO₂ yang mahal, beracun, dan berbahaya bagi lingkungan.

LiFePO₄ juga mempunyai keterbatasan seperti impedansi tinggi, laju kapabilitas pemuatan yang rendah, dan konduktivitas rendah ($\sim 10^{-9}$ S/cm) (Chung, 2002). Cara untuk meningkatkan konduktivitas material ini adalah dengan melakukan *dopping* kation *supervalent* (Zhang dkk, 2012) atau melapisinya dengan karbon yang bersumber dari glukosa (Hamid dkk, 2012), polimer (Yang dkk, 2011), dan asam stearat (Huang dkk, 2009) sehingga dapat diperoleh material komposit LiFePO₄/C dengan performa yang baik, selain dengan *mereduksi ukuran partikelnya*.

Di sisi lain, Indonesia memiliki cadangan bahan baku batu alam yang melimpah, termasuk di daerah Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Namun demikian, penggunaan bahan baku batu alam hingga saat ini masih belum optimal dan masih terdapat potensi pasar yang terbuka lebar, sehingga perlu adanya solusi untuk memanfaatkan dan meningkatkan nilai ekonomisnya. Dalam kajian sebelumnya, batu alam memiliki kandungan besi yang cukup tinggi (Nailazzulfa, 2015), sehingga dimunculkan gagasan untuk memanfaatkan batu alam sebagai salah satu bahan dasar pembuatan katoda baterai ion lithium sebagai alternatif pengganti dari serbuk besi komersial yang harganya relatif lebih mahal.

Batu besi Tanah Laut, Kalimantan Selatan dipilih karena terdapat kandungan besi yang cukup tinggi yaitu sekitar 80% (Mauliana, 2015). Tim Riset Fisika ITS pada tahun 2015 pernah memproses batu besi alam kemudian menjadikannya bahan dasar

komposit LiFePO_4/C . Namun berdasarkan hasil PSA penelitian ini masih menghasilkan ukuran partikel serbuk LiFePO_4 yang cukup besar yaitu sekitar 200nm dan distribusi partikel yang kurang homogen. Usulan ini dimaksudkan untuk mensintesis batu besi Tanah Laut dengan bahan komersial Li_2CO_3 dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ agar menjadi serbuk LiFePO_4 dengan ukuran nanopartikel menggunakan metode *Sol-Gel* serta mengkarakterisasi fasa yang terbentuk ketika serbuk diproses dengan waktu tahan kalsinasi yang berbeda di lingkungan gas Argon.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mensintesis batu besi Tanah Laut dengan bahan komersial Li_2CO_3 dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ agar menjadi serbuk LiFePO_4 dengan ukuran nanopartikel
2. Apa fasa yang terbentuk ketika serbuk diproses dengan waktu tahan kalsinasi yang berbeda di lingkungan gas Argon.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sintesis pembentukan nanopartikel LiFePO_4 dan analisis pada produk sintesis metode *Sol-Gel* dengan data XRF, DTA-TG, AAS, dan XRD.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mensintesis batu besi Tanah Laut dengan bahan komersial Li_2CO_3 dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ agar menjadi serbuk LiFePO_4 dengan ukuran nanopartikel menggunakan metode *Sol-Gel*
2. Mengkarakterisasi fasa yang terbentuk ketika serbuk diproses dengan waktu tahan kalsinasi yang berbeda di lingkungan gas Argon.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang proses sintesis serbuk nanopartikel LiFePO_4 dengan metode *Sol-Gel* diikuti kalsinasi di lingkungan gas Argon dalam waktu tahan yang berbeda.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan Tugas Akhir (TA) terdiri dari 5 bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan penelitian dan menunjang analisa hasil penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan, dan material uji yang digunakan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data-data yang dihasilkan dan pembahasan yang sesuai dengan permasalahan yang mengacu pada penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang menjawab dari semua rumusan masalah yang ditetapkan dalam penelitian dan saran yang sebaiknya dilakukan pada penelitian selanjutnya.

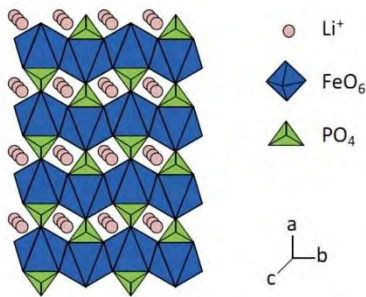
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Partikel LiFePO_4

LiFePO_4 atau *lithium iron phosphate* disebut juga *olivine* adalah salah satu bahan yang banyak digunakan dalam aplikasi baterai Li. Lithium memiliki elektron valensi +1, besi +2 dan fosfat -3. Atom besi berada di tengah dikelilingi dengan enam atom oksigen membentuk bentuk oktahedron FeO_6 . Atom fosfor dari fosfat dengan empat atom oksigen membentuk tetrahedron dengan fosfor di tengah. Kerangka zigzag dibentuk oleh oktahedral FeO_6 yang memakai bersama atom O di sisi pojok dengan tetrahedral PO_4 . Ion lithium terletak dalam struktur zigzag oktahedral. Oktahedral FeO_6 dihubungkan melalui pemakaian bersama *edge* dari sisi bc. Grup LiO_6 membentuk rantai linier oktahedral paralel axis b. Oktahedral FeO_6 berbagi *edge* dengan dua oktahedral LiO_6 dan satu tetrahedron PO_4 . Dalam ilmu *crystallografi*, struktur ini termasuk dalam *space group* Pmnb dari sistem kristal *Orthorhombic*.



Gambar 2.1 Struktur Kristal LiFePO_4

Sumber: Zhang, 2012

Jika diaplikasikan sebagai material katoda baterai Litium, LiFePO_4 secara teoritis memiliki kapasitas muatan 170

mAh/g dan *voltage open-circuit* sebesar 3,45 V. Struktur kristal *olivine* memiliki parameter kisi $a = 0,6008$, $b = 1,0334$, dan $c = 0,4693$. Dari struktur itu ada terowongan satu dimensi yang dibentuk oleh *edge shared* Li oktahedral dimana Li^+ bermigrasi melalui terowongan ini. Hambatan utama untuk mencapai kapasitas teoritis adalah konduktivitas elektronik intrinsik dan kecepatan difusi ion Li^+ yang rendah.

Fosfat dari kristal LiFePO_4 menstabilkan keseluruhan kerangka, memberikan stabilitas *thermal* dan performa *cycling* yang baik. Berbeda dari dua material katode yang lama (LiMnO_4 dan LiCoO_2) ion lithium dari LiFePO_4 bergerak dalam *free volume* satu dimensi dari kisi-kisi. Selama *charge/discharge*, ion lithium masuk/keluar dalam LiFePO_4 sedangkan ion Fe direduksi/dioksidasi. Proses ini *reversible*. Reaksi yang terjadi selama pemuatan dan pelepasan dari baterai lithium adalah $\text{LiFe(II)PO}_4 \leftrightarrow \text{Fe(III)PO}_4 + \text{Li}^+ + \text{e}^-$ (Zhang, 2012).

2.2 Metode Sol-Gel

Metode sintesis berbasis larutan yaitu metode *sol-gel* menawarkan keuntungan menghasilkan ukuran partikel yang optimum dan menjaga kemurnian fasa (Franger, dkk 2003). Metode *sol-gel* yaitu metode sintesis menggunakan pelarut berupa akuades sehingga menghasilkan partikel dengan morfologi yang baik dan homogen (Kim, dkk, 2008). Dalam metode berbasis larutan, nilai pH prekursor mempunyai peranan penting pada morfologi dan distribusi ukuran partikel yang terbentuk. Nilai pH mempunyai dampak yang besar pada morfologi dan ukuran partikel karena nilai pH dapat mempengaruhi daya larut prekursor dan rasio konfigurasi ion yang dapat larut dan mengendap. Faktor selanjutnya yang berperan dalam kemurnian fasa dan kristalinitas adalah temperatur dan waktu pemanasan (Liu, dkk. 2009).

2.3 Bahan Pembentuk *Lithium Ferro Phosphate* (LFP)

2.3.1 Besi Oksida

Besi merupakan unsur terbanyak keempat yang terkandung dalam kerak bumi. Besi oksida adalah senyawa kimia yang terdiri dari besi dan oksigen. Secara alamiah bahan-bahan tersebut ditemukan dalam bentuk mineral oksida besi berupa magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Perbedaan suhu kalsinasi akan menghasilkan berbagai bentuk fasa oksida besi, di mana Fe_3O_4 (suhu ruang), $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (kalsinasi 200°C) dan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (kalsinasi 300°C - 600°C) (Aji., 2007; Chirita., 2009).

2.3.2 *Lithium Carbonate* (Li_2CO_3)

Karakteristik dari *lithium carbonate* diantaranya adalah serbuk berwarna putih, memiliki titik lebur pada 720°C , densitas sebesar $2,1 \text{ g/cm}^3$, massa molar 73.89 g/mol , terurai pada suhu 1200°C , dan indeks refraksi 1.428. Bersifat *hygroscopis*, mampu menyerap H_2O dari lingkungan, memiliki toksisitas rendah. Kegunaan dalam pembuatan keramik dan gelas, lithium karbonat digunakan sebagai katalis dan sebagai lapisan untuk menyatukan elektroda, sedangkan dalam medis sebagai anti depresan (Merck, 2013).

2.3.3 *Di-ammonium Hydrogen Phosphate* ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)

Sifat-sifat umum dari *di-ammonium hydrogen phosphate* adalah sebagai berikut berbentuk kristal granular, memiliki berat molekul 132 g/gmol , densitas $1,619 \text{ g/ml}$, titik leleh 155°C , mudah larut dalam air, aseton dan alkohol. Selain itu, *di-ammonium hydrogen phosphate* memiliki kelarutan dalam air 690 g/l (20°C), *bulk density* sebesar $800 - 1000 \text{ kg/m}^3$, tidak berbau (Merck, 2013).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan dan Peralatan

3.1.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bijih Besi Tanah Laut, Kalimantan Selatan, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (Merck, FR Germany), Li_2CO_3 (Merck, FR Germany), HCl (Merck), Akuades, *Alcohol*, dan Aluminium Foil.

3.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk sintesis sampel penelitian ini adalah timbangan digital (*digital balance*), gelas beker, spatula, pipet, gelas ukur, indikator kertas pH, *boot crucible*, oven, *furnace*, *hot plate*, dan magnetik stirer. Sedangkan peralatan untuk karakterisasi sampel yang diperlukan yaitu *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur kimia, DTA-TG (*Differential Thermal Analysis and Thermogravimetry*) untuk mengetahui temperatur yang mempengaruhi perubahan massa, *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) untuk mengetahui jumlah atom Fe yang terkandung dalam larutan, dan *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk mengidentifikasi fasa dan mengetahui ukuran partikel.

3.2 Prosedur Kerja

Prosedur penelitian

1. Penelitian diawali dengan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui unsur-unsur dominan yang terdapat pada batu alam.
2. Batu besi (Fe_3O_4) dilarutkan dalam HCl , setelah batu besi larut kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan dengan unsur-unsur non logam. Kemudian, pH larutan yang lolos saring dinetralkan dengan ditetaskan NH_4OH . Larutan ini disebut sebagai larutan I.

3. $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ dilarutkan dalam akuades dan secara perlahan-lahan tambahkan Li_2CO_3 sedikit demi sedikit ke dalam larutan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ tersebut, larutan ini disebut sebagai larutan II.
4. Larutan I ditambahkan ke dalam larutan II sehingga terbentuk larutan III.
5. Larutan III berupa *sol* diaduk menggunakan *magnetic stirrer* di atas *hot plate* pada temperatur 80°C selama 1,5 jam hingga kemudian terbentuk *gel*.
6. *Gel* selanjutnya dikeringkan di dalam oven untuk membentuk *xerogel*.
7. *Xerogel* digerus dengan *mortar* dan *pestle*, kemudian diayak.
8. Serbuk dikalsinasi pada lingkungan gas inert dengan temperatur 700°C selama 5 dan 10 jam. Lingkungan gas inert diberikan untuk menghindari peristiwa oksidasi $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ yang tidak diinginkan.
9. Serbuk LiFePO_4 hasil kalsinasi ini dianalisis dengan menggunakan XRD.

3.3 Karakterisasi Sampel

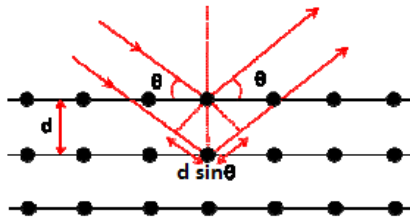
Karakterisasi yang diperlukan pada penelitian ini adalah XRD, XRF, AAS, dan DTA-TG.

3.3.1 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan sebuah metode analisis non destruktif yang efektif untuk melakukan karakterisasi material kristalin, memberikan informasi komposisi kimia dan struktur kristalografi material. Teori XRD ini berdasarkan pada Hukum Bragg (Bragg's Law).

$$2 d_{hkl} \sin \theta = n \lambda$$

dimana d_{hkl} adalah jarak antar bidang kristal pada kisi kristalin spesifik, θ adalah sudut antara sinar-X yang datang/pantul dengan bidang kisi, dan n adalah n adalah orde puncak difraksi yang ditunjukkan seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema Geometri pada Kondisi Bragg

Posisi puncak, intensitas dan bentuk pada pola XRD memberikan banyak informasi pada struktur kristal material, seperti parameter sel satuan, parameter atomik, kekristalan, ketidakteraturan dan cacat kristal (*defect*). Puncak-puncak difraksi adalah karakteristik untuk material tertentu dan orientasi butir-butir kristal (*grains*) pada lapisan polikristalin.

Pada penelitian ini. Semua sample dilakukan karakterisasi menggunakan XRD dengan radiasi Cu-K α ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$) tipe Philips X'Pert MPD (*MultiPurposeDiffractometer*) di Laboratorium Difraksi Sinar-X *Research Center* LPPM ITS Surabaya. Data difraksi dilakukan pada *scanning step* 0.016711° dan sudut 2θ antara 15° sampai 65° . Gambar (3.2) merupakan alat pengujian XRD yang ada di Jurusan Teknik Material ITS Surabaya.



Gambar 3.2 XRD Philips X'Pert MPD (*Multi Purpose Diffractometer*) sistem di laboratorium Jurusan Teknik Material.

3.3.2 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan sebuah analisis nondestruktif yang digunakan untuk menganalisa komposisi dan prosentase unsur-unsur kimia yang terkandung pada sampel dengan menggunakan metode spektrometri. Sampel dideteksi oleh sinar-X karakteristik yang dihasilkan dari radiasi sinar-X utama dengan energi tinggi. Sinar-X karakteristik dapat menganalisis dari panjang gelombang ataupun energi yang dihasilkan. Ada dua tipe XRF yaitu *Wavelength Dispersive Spectroscopy* (WDS) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* EDS. Instrumen XRF terdiri dari tiga bagian utama yaitu *X-Ray source*, *detection system*, dan *data collection and processing system*.

Sumber sinar-X yang membangkitkan sinar-X primay untuk mengeksitasi atom-atom di dalam sampel, umumnya adalah tabung sinar-X (*X-ray Tube*), sama seperti yang digunakan pada difraktometer. Tabung sinar-X dioperasikan pada daya 0,5-3 kW dan tegangan tinggi 30-50 kV. Alasan digunakan tegangan tinggi adalah untuk memastikan bahwa sinar-X menyangkut sampel melebihi potensial kritis sehingga dihasilkan sinar-X karakteristik hasil dari eksitasi atom-atom pada sampel. Rasio optimum tabung tegangan untuk potensial kritis adalah 3-5 (Leng, 2012).

Pengujian XRF pada penelitian ini dilakukan dengan XRF PANalytical Minipad 4 di laboratorium FMIPA Universitas Hasannudin Makassar. Alat XRF ini digunakan untuk menguji kandungan unsur material mulai dari Natrium sampai Uranium.



Gambar 3.3 Alat XRF PANalytical Minipad 4

3.3.3 Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) adalah suatu teknik analisis untuk menetapkan konsentrasi suatu unsur (logam) dalam suatu sampel. AAS pertama kali dikembangkan oleh Sir Alan Walsh pada tahun 1950. Proses dalam AAS melibatkan 2 langkah, yaitu atomisasi sampel dan absorpsi radiasi dari sumber sinar oleh atom bebas.

Dalam AAS diukur serapan (absorpsi) yang dialami oleh seberkas sinar yang melalui kumpulan atom-atom. Serapan akan bertambah dengan bertambahnya jumlah atom yang menyerap sinar tersebut.

Sinar tersebut bersifat monokromatis dan mempunyai panjang gelombang (λ) tertentu. Suatu atom unsur X hanya bisa menyerap sinar yang panjang gelombangnya sesuai dengan unsur X tersebut. Artinya, sifat menyerap sinar ini merupakan sifat yang khas (spesifik) bagi unsur X tersebut. Misal : atom Cu menyerap sinar dengan $\lambda = 589,0$ nm sedangkan atom Pb menyerap sinar dengan $\lambda = 217,0$ nm. Dengan menyerap sinar yang khas, atom tersebut tereksitasi (elektron terluar dari atomnya tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi).

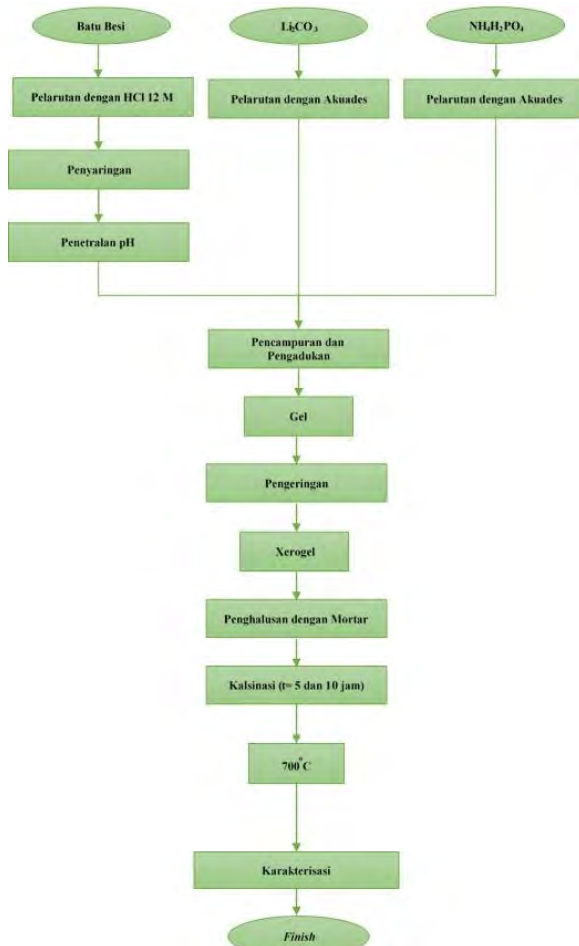
Hubungan antara serapan yang dialami oleh sinar dengan konsentrasi analit dalam larutan standar dapat digunakan untuk menganalisis larutan sampel yang tidak diketahui, yaitu dengan mengukur serapan yang diakibatkan oleh larutan sampel tersebut terhadap sinar yang sama. Terdapat hubungan yang linier antara serapan (**A**) dengan konsentrasi (**c**) dalam larutan yang diukur dan koefisien absorpsi (**a**).

$$A = a \cdot b \cdot c$$



Gambar 3.4 Alat AAS

3.4 Skema Kerja



Gambar 3.5 Diagram Alir Sintesis Serbuk LiFePO_4

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakterisasi *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Hasil analisis kandungan unsur dua buah batu besi menggunakan XRF ditunjukkan Tabel 4.1. Dari analisis tersebut didapatkan beberapa unsur yang dominan pada batu besi Tanah Laut yaitu besi (Fe), silikon (Si), kalsium (Ca), mangaan (Mn), dan tembaga (Cu). Seperti yang diharapkan, unsur yang paling dominan adalah Fe.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian XRF Batu Besi Tanah Laut

Sampel	Prosentase unsur (%)				
	Fe	Si	Ca	Mn	Cu
Batu 1	89,84	7,10	1,44	1,44	0,13
Batu 2	78,98	9,74	8,45	1,76	0,73

Berdasarkan data hasil pengujian XRF dipilih Batu 1 karena memiliki kandungan Fe yang lebih tinggi. Selain itu secara makroskopis Batu 1 lebih mudah digunakan, karena diameter batu tersebut yang sudah berukuran ± 2 cm. Sedangkan Batu 2 berukuran ± 20 cm yang untuk mereduksi ukurannya perlu waktu yang lebih lama. Tujuan batu direduksi ukurannya adalah agar mudah dilarutkan.



Gambar 4.1 Batu 1 dan Batu 2

Pengujian XRF perlu dilakukan juga pada sampel sebelum dikalsinasi. Hal ini untuk memastikan bahwa tidak ada unsur selain Fe yang turut terlarut ke dalam HCl.

4.2 Hasil Karakterisasi *Atomic Absorbtion Spectroscopy* (AAS) dan Analisis Pengurangan Massa

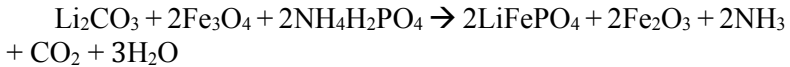
Pengujian AAS dilakukan pada 7 gram Batu 1 yang telah dilarutkan ke dalam 40 ml HCl dan hasilnya menunjukkan terdapat 180 ppm atom Fe dalam larutan tersebut. Hasil uji ini membuktikan bahwa Fe terlarut dalam HCl sehingga larutan kemudian bisa digunakan sebagai prekursor Fe.

Prekursor Fe dikeringkan untuk ditimbang beratnya sehingga komposisi $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ dan Li_2CO_3 bisa ditentukan berdasarkan perhitungan stoikiometri seperti ditunjukkan Tabel 4.2. Pada proses sintesis, ion Fe^{2+} diperlukan untuk membentuk fasa LiFePO_4 . Sementara bahan dasar prekursor Fe yang digunakan pada penelitian ini adalah batu besi dengan fasa Fe_3O_4 . Pada Fe_3O_4 terdapat ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} . Penentuan komposisi seharusnya didasarkan pada jumlah Fe^{2+} yang terlarut dalam HCl, sehingga ke depan diharapkan fraksi berat absolut LiFePO_4 akan meningkat.

Tabel 4.2 Massa (gr) Serbuk selama Proses Percobaan

Material	Perhitungan Stoikiometri	Sebelum Dilarutkan	Setelah Dikeringkan
Fe_3O_4	6,0000	7,0457	-
Li_2CO_3	2,7753	2,7719	-
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	8,6480	8,6483	-
LFP	11,8602	-	15,6776

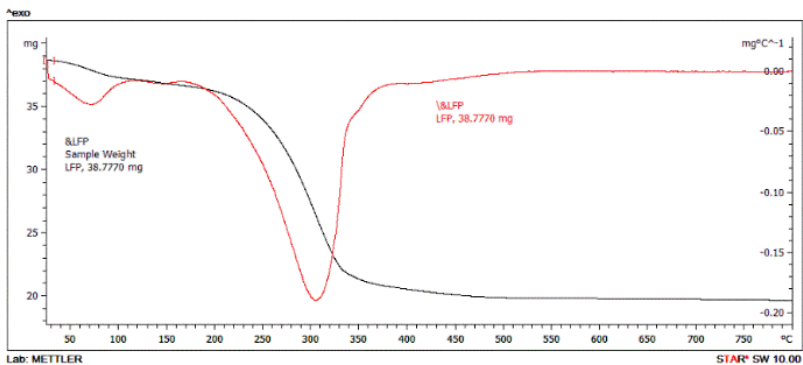
Tabel 4.3 menyajikan data massa serbuk sebelum dan setelah kalsinasi. Dari data tersebut didapatkan bahwa massa serbuk setelah dikalsinasi berkurang dari massa serbuk sebelum dikalsinasi. Perbedaan waktu tahan turut memberikan pengurangan massa. Kehilangan massa yang terjadi menggambarkan proses dekomposisi material awal mengikuti reaksi kimia



Tabel 4.3 Massa (gr) Serbuk Sebelum dan Setelah Dikalsinasi

No	Nama Sampel	Sebelum dikalsinasi	Setelah dikalsinasi
1	LFPHT5	4,0122	3,2564
2	LFPHT10	4,0710	2,6348

Pengurangan massa disebabkan oleh kenaikan temperatur. Pengurangan yang signifikan disebabkan oleh pemberian temperatur kalsinasi sebesar 700°C. Saat kalsinasi hingga temperatur 700°C terjadi pembentukan fasa LiFePO_4 disertai penguapan NH_3 , CO_2 , dan H_2O . Penguapan molekul gas tersebut yang menyebabkan pengurangan massa pada serbuk. Walaupun dari data pengukuran massa terlihat bahwa perbedaan waktu tahan turut memberikan pengurangan massa. Apabila dilihat dari hasil karakterisasi menggunakan DTA-TG (*Differential Thermal Analysis and Thermogravimetry*) yang ditampilkan pada Gambar 4.2 seharusnya pengurangan massa tidak terjadi pada temperatur 700°C.

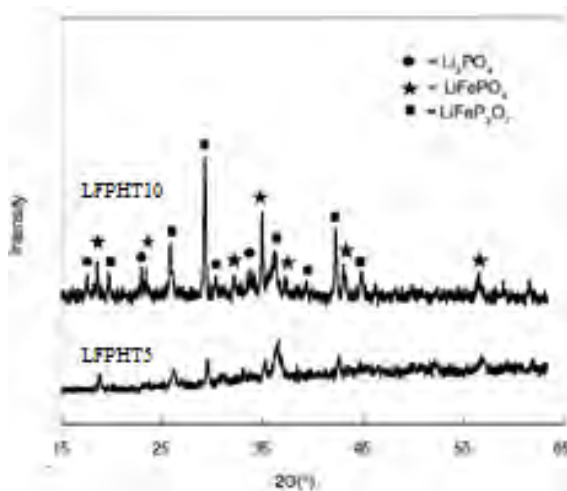


Gambar 4.2 Grafik DTA-TG dari Prekursor LFP

4.3 Hasil Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Gambar 4.3 menunjukkan pola-pola difraksi sinar-x sampel LFP dengan waktu tahan 10 jam (LFPHT10) dan 5 jam (LFPHT5). Hasil pencocokan posisi puncak difraksi dengan menggunakan *software Match* menunjukkan bahwa terdapat tiga fasa pada material LFP yaitu fasa LiFePO_4 (*Lithium Iron Phosphate*) olivine yang mengacu pada nomor PDF 96-110-1112, fasa LiFeP_2O_7 (*Lithium Iron(III) Diphosphate*) yang mengacu pada nomor PDF 96-100-1452, dan fasa Li_3PO_4 (*Lithiophosphate*) yang mengacu pada nomor PDF 96-901-2205.

Sampel LFPHT5 adalah semikristalin, sehingga puncak-puncak difraksi masih dapat diidentifikasi disertai fasa amorf ditunjukkan oleh *background* yang tinggi. Gambar 4.2 menunjukkan peningkatan kristalinitas fasa pada sampel LFPHT10 dengan waktu tahan kalsinasi 10 jam. Tampaknya peningkatan waktu tahan kalsinasi telah meningkatkan reaksi pembentukan kristal dan cenderung meningkatkan jumlah produk fasa LiFeP_2O_7 jika ditilik dari intensitas puncak-puncak difraksi yang teramati.



Gambar 4.3 Pola difraksi *lithium iron phosphate* (LFP)

Untuk mengetahui lebih lanjut komposisi fasa pada sampel-sampel tersebut, maka dilakukan analisis kuantitatif menggunakan *software Rietica*, yang reliabilitas analisisnya cukup baik (Tabel 4.4 dan 4.5) dan fraksi berat relatif seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.4 Parameter Kecocokan *Rietica*

Nama Sampel	Rp	Rwp	X ²
LFPHT5	9,9	13,5	2,8
LFPHT10	8,8	11,8	3,5

Tabel 4.5 *Derived Bragg R-Factor*

Nama Sampel	LiFePO ₄	LiFeP ₂ O ₇	Li ₃ PO ₄
LFPHT5	12,3	3,1	15,1
LFPHT10	3,7	5,3	7,6

Tabel 4.6 Fraksi Berat Relatif Fasa Serbuk LFP Dihitung menggunakan *Software Rietica*

No	Nama Sampel	Prosentase Fasa(%)		
		LiFePO ₄	LiFeP ₂ O ₇	Li ₃ PO ₄
1	LFPHT5	79,5	15,4	0,5
2	LFPHT10	37,0	61,9	1,0

Fraksi berat relatif LiFePO₄ pada sampel LFPHT5 lebih besar jika dibandingkan sampel LFPHT10, namun kuantitatif absolutnya diyakini tidak seperti yang ditabelkan, karena sampel LFPHT5 didominasi fasa amorf. Analisis menggunakan Match! menunjukkan bahwa kristalinitas LFPHT5 hanya 6,45%, dibandingkan dengan LFPHT10 yang 13,58%. Jadi, kandungan absolut LiFePO₄ pada sampel LFPHT5 dan LFPHT10 berturut-turut adalah 5,12% dan 5,02%.

Pada kedua sampel terdapat impuritas yang cukup besar dari

fasa LiFeP_2O_7 dan Li_3PO_4 . Fasa LiFeP_2O_7 terbentuk dari berlebihnya komposisi ion Fe^{3+} yang tidak bisa bereaksi menjadi LiFePO_4 . Sementara Li_3PO_4 terbentuk dari hasil reaksi antara ion Li^+ dan $(\text{PO}_4)^{3-}$ yang tidak bereaksi membentuk LiFePO_4 karena sedikitnya ion Fe^{2+} yang terlarut dalam HCl.

Penelitian material katoda LiFePO_4/C berbahan dasar batu alam, Li_2CO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, dan asam sitrat telah dilakukan oleh grup penelitian material jurusan Fisika ITS. Grup ini telah memulai eksplorasi bahan alam batu besi yang diambil dari beberapa daerah penambangan yang ada di Kalimantan, salah satunya adalah batu alam Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Beberapa penelitian pernah dilakukan oleh Anisa (2015), Mauliana (2015), dan Narsisca (2015) yang menganalisis komposisi batu besi alam kemudian memproses dan menjadikannya bahan dasar komposit LiFePO_4/C sehingga didapatkan karakteristik fasa dan performa dari komposit tersebut. *Namun berdasarkan hasil PSA penelitian ini masih menghasilkan ukuran partikel serbuk LiFePO_4 yang cukup besar yaitu sekitar 200nm dan distribusi partikel yang kurang homogen.* Secara teori ukuran partikel serbuk LiFePO_4 yang semakin kecil jika diaplikasikan sebagai material katoda akan meningkatkan konduktivitas material ini. Hal ini disebabkan reduksi ukuran butiran akan mereduksi jarak difusi Li^+ dan luas permukaan yang tinggi akan mempercepat ekstraksi dan penyisipan Li^+ selama proses redoks berlangsung. Oleh karena itu penelitian dengan tujuan mereduksi ukuran partikel serbuk LiFePO_4 perlu dilakukan.

Pembentukan material LFP dilakukan melalui metode *Sol-Gel* yaitu dengan melarutkan batu besi ke dalam HCl sebagai sumber ion Fe, Li_2CO_3 dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ dilarutkan ke dalam akuades sebagai sumber ion Li dan PO_4 . Kemudian percobaan dilakukan dengan mencampurkan ketiga prekursor tersebut berdasarkan stoikiometri. Selain mendapatkan ukuran yang optimum dan homogen, metode ini mempersingkat sekaligus mempermudah proses sintesis serbuk LFP. Dengan melarutkan batu besi ke dalam HCl kemudian menyaringnya. Karena material yang tidak bisa larut tidak memiliki sifat seperti besi yang larut pada asam kuat,

otomatis material pengotor akan terseparasi melalui saringan. Proses pelarutan batu, menghilangkan proses pemurnian batu yang dilakukan oleh tim riset sebelumnya dengan penghancuran batu menjadi pasir, *sieving*, dan pencucian menggunakan *ultrasonic cleaner*. Selain itu proses pencampuran bahan memerlukan waktu yang lebih singkat yaitu 1,5 jam untuk mendapatkan ukuran yang optimum dan homogen. Jika menggunakan *ball milling* memerlukan waktu 7 jam dan ukuran yang didapat adalah mikrometer.

Berdasarkan hasil pengolahan data difraksi dengan menggunakan *software* MAUD diperoleh ukuran kristal yang ditampilkan pada Tabel 4.6.

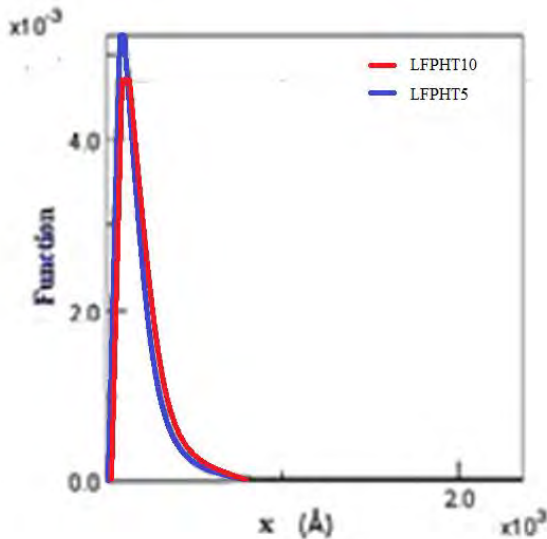
Tabel 4.7 Ukuran Kristal LFPHT5

Fasa	LiFePO_4	LiFeP_2O_7	Li_3PO_4
Ukuran	21	91	104

Tabel 4.8 Ukuran Kristal LFPHT10

Fasa	LiFePO_4	LiFeP_2O_7	Li_3PO_4
Ukuran	103	102	109

Ukuran kristal LiFePO_4 pada sampel LFPHT10 lebih besar dari LFPHT5. Hal ini disebabkan oleh perbedaan waktu tahan yang cukup lama yaitu 5 jam. Proses pemanasan mendorong terjadinya pertumbuhan kristal. Semakin lama proses pemanasan, maka semakin lambat pertumbuhan kristalnya yang menyebabkan atom-atom penyusun zat padat dapat menata diri untuk menempati posisinya dan semakin besar ukuran kisi-kisinya. Sampel LFPHT5 dapat diterima sebagai nanopartikel karena ukuran kristalnya dibawah 100 nm.



Gambar 4.4 Pola Distribusi Ukuran Kristal LiFePO_4 Pada Sampel LFPHT5 dan LFPHT10

Gambar 4.4 menunjukkan distribusi ukuran kristal LiFePO_4 pada sampel LFPHT5 lebih homogen jika dibandingkan dengan LFPHT10. Terlihat bahwa puncak pola distribusi LFPHT10 lebih lebar dan rendah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa rentang ukuran kristal dari LFPHT10 lebih besar. Distribusi ukuran partikel yang merata dapat mencegah terjadinya kemampatan pada saat proses interkalasi dan deinterkalasi apabila serbuk LiFePO_4 diaplikasikan sebagai material katoda. Perbandingan pola distribusi pada Gambar 4.4 perlu diklarifikasi menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscopy*) karena lebar puncak kedua pola distribusi yang didapat dari *software* MAUD sulit dibedakan secara kuantitatif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses sintesis sol-gel dengan bahan dasar batu besi Tanah Laut, Li_2CO_3 , dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ dengan waktu kalsinasi di lingkungan argon selama 5 jam menghasilkan fasa-fasa yaitu LiFePO_4 , LiFeP_2O_7 , dan Li_3PO_4 dengan ukuran kurang dari 100 nm. Distribusi ukuran fasa LiFePO_4 pada sampel dengan waktu kalsinasi 5 jam relatif lebih homogen dibandingkan sampel 10 jam.
2. Produk sintesis yang dikalsinasi 10 jam masih cenderung amorf dengan fraksi berat kristal LFP sebesar 5,02%, sedangkan kalsinasi 5 jam menghasilkan kristal LFP dengan fraksi berat relatif LFP yang lebih banyak, yaitu 5,12%.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk lebih memperhatikan stoikiometri sehingga diharapkan akan mendapatkan LFP dengan kemurnian yang lebih tinggi.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menetralkan pH ketika ketiga prekursor telah tercampur.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan untuk melakukan uji performa lanjut seperti *Cyclic Voltametry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) terhadap sampel LFP.

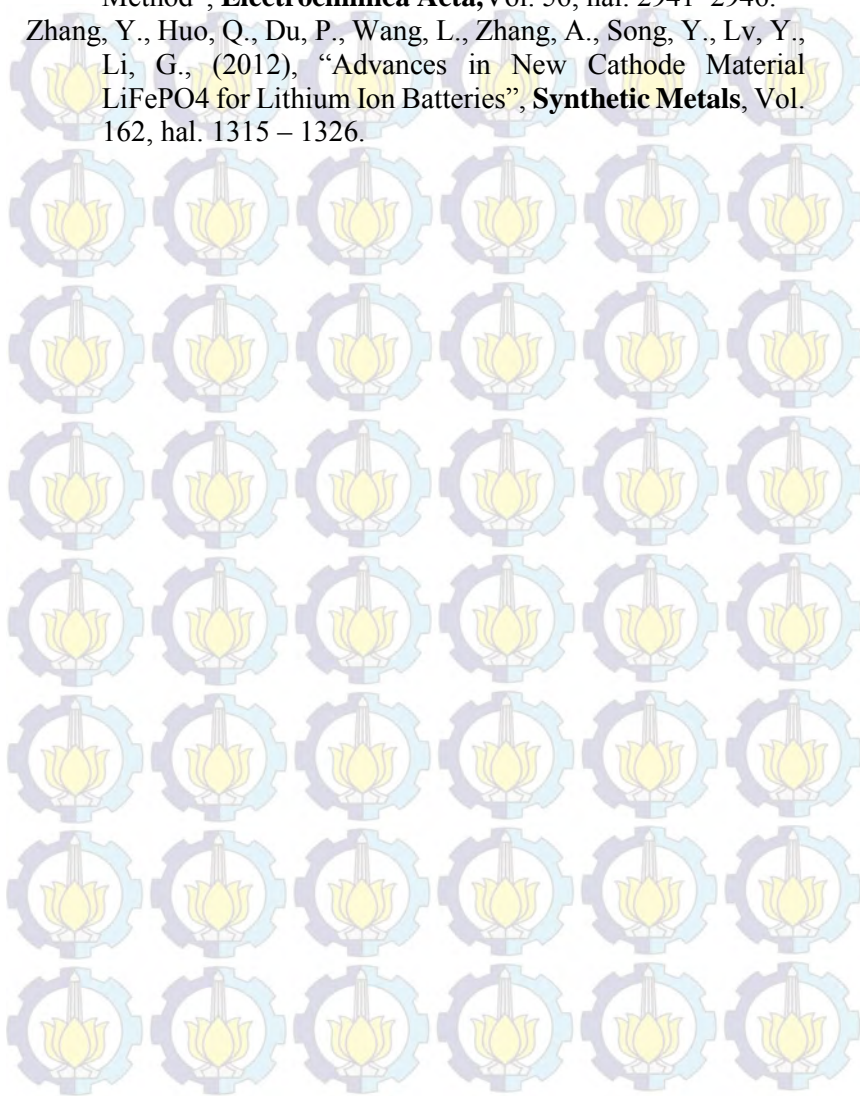
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, M. P., A. Yulianto., dan S. Bijaksana. 2007. Sintesis Nanopartikel Magnetit, Maghemit, dan Hematit dari Bahan Lokal. **Jurnal Sains Materi Indonesia**. ISSN: 1441-1098: 106-108.
- Chung, S. Y., Bloking, J. T. and Chiang, Y. M., (2002): Electronically conductive phosphoolivines as lithium storage electrodes, **Nature Materials**, No.1, pp.123-128.
- Franger, S., Le Cras, F., Bourbon, C., Rouault, H., (2003): "Comparation Between Different LiFePO_4 Synthesis Routes And Their Influence On Its Physico-Chemical Properties". **Journal of Power Sources**, 119-121, 252-257.
- Hamid, N.A., Wennig, S., Hardt, S., Heinzl, A., Schulz, C., Wiggers, H., (2012), "High-capacity Cathodes for Lithium-ion Batteries from Nanostructured LiFePO_4 Synthesized by Highly-flexible and Scalable Flame Spray Pyrolysis", **Journal of Power Sources**, Vol. 216, hal. 76 – 83.
- Huang Y., Ren, H., Peng, Z., Zhou, Y., (2009), "Synthesis of LiFePO_4 /Carbon Composite from Nano- FePO_4 by a Novel Stearic Acid Assisted Rheological Phase Method", **Electrochimica Acta**, Vol. 55, hal. 311 – 315.
- Kim, J.K., Choi, J.W., Chauhan, G.S., Ahn, J.H., Hwang, G.Ch., Choi, J.B., Ahn, H.J., (2008): "Enhancement of Electrochemichal Performance of Lithium Ion Phospate by Controlled Sol-Gel Synthesis". **Electrochemichal Acta**, 55, 8258-8264.
- Liu, J., Jiang, R., Wang, X., Huang, T., Yu, A., (2009): "The Defect Chemistry of LiFePO_4 Prepared By Hydrothermal method at Different pH Values". **Journal of Power Sources**, 194, 536-540.
- Yang, K., Lin, Z., Hu, X., Deng, Z., Suo, J., (2011), "Preparation and Electrochemical Properties of a LiFePO_4 /C Composite

Cathode Material by a Polymer – Pyrolysis –Reduction Method”, **Electrochimica Acta**, Vol. 56, hal. 2941–2946.

Zhang, Y., Huo, Q., Du, P., Wang, L., Zhang, A., Song, Y., Lv, Y., Li, G., (2012), “Advances in New Cathode Material LiFePO_4 for Lithium Ion Batteries”, **Synthetic Metals**, Vol. 162, hal. 1315 – 1326.



BIODATA PENULIS



Penulis dikenal dengan nama “Humaatul Islam” merupakan anak kedua dari empat bersaudara yang dilahirkan di Jakarta, 19 April 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TKIT Ummul Quro, SDIT Darul Abidin, SMP Negeri 5 Depok, dan SMA Negeri 5 Depok. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif berpartisipasi dalam kompetisi karya tulis ilmiah, salah satunya Program Kreativitas Mahasiswa (PKM). Harapan besar penulis adalah karya ini bisa bermanfaat bagi orang lain. Kritik dan saran dapat dikirim melalui email: humaatul.islam@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

